营养改变对潜蝇姬小蜂寄生行为和寄主取食行为的影响

张毅波[1,2]，刘万学[1,*]，万方浩[1]，李 强[2]
(1. 中国农业科学院植物保护研究所植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193；
2. 云南农业大学植物保护学院昆虫系，昆明 650201)

摘要：为了研究营养状态对卵育型寄生蜂潜蝇姬小蜂 *Diglyphus isaea*（Walker）雌蜂的寄主取食行为和产卵寄生行为及其二者行为权衡的影响，在培养皿条件下，比较了饥饿、加蜂蜜水和不加蜂蜜水 3 种营养状态的潜蝇姬小蜂雌蜂对美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard 各龄幼虫(低、中、高)的寄生、取食及致死能力。结果表明：非选择条件下，3 种营养状态寄生蜂对高龄幼虫均具有较高的寄生率，对中龄幼虫具有较高的取食率，致死率和致死量之间存在显著性差异。3 种状态的寄生蜂对低龄幼虫均没有表现出致死能力。有选择条件下，饥饿状态的寄生蜂对寄主的寄生率最低(5.0% ±1.6%)，取食率最高(16.0% ±2.9%)，特别是对高龄幼虫的取食率占到了整个寄主食物取食率的 91.9%；加蜂蜜水状态下，寄生蜂对寄主有最低的取食率(8.3% ±0.9%)和致死率(17.7% ±1.1%)；不加蜂蜜水状态下，寄生蜂对寄主有最高的寄生率(13.3% ±1.1%)和致死率(28.4% ±1.8%)。综合分析发现，取食寄主的雌蜂比取食蜂蜜水的雌蜂具有更强的致死能力和活动能力。

关键词：潜蝇姬小蜂；美洲斑潜蝇；营养；寄主取食；寄生率；致死能力
中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2010)08-0884-07

Effect of nutritional status on the parasitism and host feeding behavior of *Diglyphus isaea* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) females

ZHANG Yi-Bo[1,2], LIU Wan-Xue[1,*], WAN Fang-Hao[1], LI Qiang[2] (1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China; 2. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to investigate the host-feeding behavior of *Diglyphus isaea* (Walker), the oviposition behavior and the trade-off between the two behaviors in different nutritional status, we compared the influences of the parasitism, host-feeding and the lethal capability of female *D. isaea* on *Liriomyza sativae* Blanchard larvae that were supplied with the distilled water (hungry), diet with honey and that without honey, respectively. The results showed that under the condition of no-choice, parasitoids in the three kinds of nutritional status had higher parasitism rate on the late instar larva, higher feeding rate on the mid-instar larva, and the mortality and the lethal capability had significant difference. Parasitoids in the three kinds of nutritional status had no lethal capability to the early instar larva. Under the condition of choice, the hungry parasitoids had the lowest parasitism rate (5.0% ± 1.6%) and the highest feeding rate (16.0% ± 2.9%), especially the feeding rate of the late instar larvae amounted to 91.9% of all instar larvae. When honey were supplied, the feeding rate (8.3% ± 0.9%) and the mortality (17.7% ± 1.1%) of the parasitoid was the lowest; however, its parasitism rate (13.3% ± 1.1%) and the mortality (28.4% ± 1.8%) were the highest when no honey was supplied. In conclusion, the parasitoids feeding hosts have stronger lethal capability than those feeding honey, and the parasitoids supplied with host food have stronger activity than those not supplied with host food.

Key words: *Diglyphus isaea*; *Liriomyza sativae*; nutrition; host feeding; parasitism rate; lethal capability

---

基金项目：国家自然科学基金项目(30771448)；北京市自然科学基金项目(6052022)
作者简介：张毅波，男，1982 年出生，硕士，主要从事外来入侵昆虫控制研究，E-mail：niaobu22.student@sina.com
* 通讯作者 Corresponding author, Tel.: 010-68919572; E-mail: liuwanxue@263.net
收稿日期 Received: 2010-02-26；接受日期 Accepted: 2010-06-22

寄生蜂按其初羽化时卵成熟的方式可划分为 2 种类型：Ⅰ，卵熟型(proovigenic)，即在寄生蜂羽化前卵巢中卵已全部成熟，羽化后不再经历卵的成熟过程；Ⅱ，卵育型(synovigenic)，指寄生蜂羽化时卵巢中卵未成熟或仅有少量成熟卵，大部分卵需通过后天取食才完成进一步发育(Jervis and Kidd，1986，1999；Heimpel and Collier，1996)。卵育型寄生蜂在整个成虫期，不仅需要找到寄主产卵寄生来繁殖后代，而且还需获得食物来补充其生命维持所需和产卵繁殖后代所需的营养，因此，取食行为和产卵寄生行为是卵育型寄生蜂雌蜂既相互联系又相互独立的两种活动形式。与此同时，研究寄生蜂在通过产卵寄生的当前繁殖能力和通过取食的未来繁殖能力的得失权衡，以及调节这种利弊权衡的因子，在行为进化方面上具有重要意义，因而成为近年来研究热点之一(Rosenheim *et al.*，2000；Burger，2002)。

豌豆潜蝇姬小蜂 *Diglyphus isaea* (Walker)(以下简称潜蝇姬小蜂)为典型的卵育型寄生蜂，隶属膜翅目(Hymenoptera)，小蜂总科(Chalcidoidea)，姬小蜂科(Eulophidae)，潜蝇姬小蜂属 *Diglyphus*，其寄主包括 5 属 18 种斑潜蝇(Minkenberg and van Lenteren，1986；张毅波等，2010)，是目前世界上各国防治斑潜蝇类害虫的首选天敌之一。我国于 1996 年从荷兰引进潜蝇姬小蜂用于防治美洲斑潜蝇(陈红印等，2000)。潜蝇姬小蜂在自然情况下，主要依赖于取食其寄主幼虫来补充卵子发生所需要的营养，即所谓的卵育型寄生蜂的寄主取食行为(host-feeding)。前人对该蜂的研究主要集中在其基本生物学特性(Minkenberg，1989；Steinberg *et al.*，1991；Vinson，1998；罗开珺等，2000)、寄生行为及人工饲养和释放技术(Bene，1990；Steinberg *et al.*，1991；Cabitza *et al.*，1993；Ozawa *et al.*，1993；Sampson and Walker，1998；陈红印等，2000；谌爱东等，2002)、田间发生及控害效果(van Lenteren *et al.*，1980；Ode and Heizn，2002)、寄主大小与寄生蜂后代质量(Ode and Heizn，2002)等方面，但关于雌蜂面临其寄主的取食和产卵的行为抉择及行为机理，尚缺乏深入的研究。Heimpel 和 Collier(1996)认为，当寄生蜂遇到其寄主时，是采取产卵寄生还是寄主取食，主要基于寄生蜂对自身营养状况和寄主质量(如个体大小)的综合评判。一些研究结果表明，卵育型寄生蜂倾向于产卵寄生较大个体的寄主，而取食较小个体的寄主(Heinz and Parrella，1989；Rosenheim and Rosen，1992；Heimpel and Rosenheim，1995)。本文拟比较不同营养状态下潜蝇姬小蜂的寄生率、取食率、致死能力以及寄生蜂对不同龄期寄主的取食行为和寄生行为偏好，以求进一步阐述寄生蜂——寄主系统之间的互作机理。

1　材料与方法

1.1　供试虫源及饲养

美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard 采自中国农业科学院植物保护研究所试验站菜豆地，在温室内用矮生油豆(品种名为“英雄地”，为北京食根种业有限公司生产)进行连代饲养。潜蝇姬小蜂采自云南省昆明市呈贡县芹菜基地，原寄主为南美斑潜蝇 *L. huidobrensis* (Blanchard)；在温室内用油豆上的美洲斑潜蝇 2 龄末 ~3 龄初幼虫进行连代饲养。温室饲养条件：温度 25 ~30℃，RH 70% ~80%，自然光照。

1.2　供试虫源的准备和前处理

1.2.1　供试潜蝇姬小蜂：将初羽化雌蜂与雄蜂以 1∶1的比例配对放入 5 mL 的玻璃试管单独饲养，交配后，将雌蜂移入纱网笼(15 cm×15 cm×15 cm)，同时提供 10% 的蜂蜜水和带有 2 ~3 龄美洲斑潜蝇幼虫的油豆苗进行笼罩饲养 48 h。然后，将健康活跃的雌蜂分成两份，分别转移到两个另一型号的纱网笼(6 cm×6 cm×6 cm)中，并分别提供蜂蜜水和蒸馏水，称之为蜂蜜水处理和饥饿处理，48 h 后供试。整个实验过程在人工气候箱中完成，环境条件为：温度 24 ±1℃，RH 75%±5%，光照周期 L∶D =14∶10。

实验用潜蝇姬小蜂分为 3 种处理：提供 2 d 蜂蜜水处理(即饥饿处理，蜂蜜水饲养 2 d 后的寄生蜂继续提供寄主和水)；继续持续提供蜂蜜水处理(简称：加蜂蜜水处理，即为蜂蜜水饲养 4 d 后的寄生蜂继续提供寄主和蜂蜜水)；提供 4 d 蜂蜜水处理(即不加蜂蜜水处理，为蜂蜜水饲养 4 d 的寄生蜂转而继续提供寄主和水)。

1.2.2　供试美洲斑潜蝇幼虫：将油豆幼苗在养虫笼(50 cm×50 cm×50 cm)中接上斑潜蝇。为了保证实验用的斑潜蝇幼虫处于同一龄期且发育整齐，接斑潜蝇成虫产卵的时间控制在 2 h 以内。接虫后的油豆幼苗在人工气候箱(温度 24 ±1℃，RH 75% ±5%，光照周期 L∶D =14∶10)中培育，实验用的油

豆苗叶片上的斑潜蝇幼虫龄期设置为 3 个处理阶段：低龄(孵化后 24 h)，中龄(孵化后 48 h)，高龄(孵化后 72 h)。每片豆叶上保留斑潜蝇幼虫 20 头，多余的幼虫在初孵阶段用昆虫针刺死。

1.3 非选择条件下雌蜂对不同龄期斑潜蝇幼虫的致死作用

分别将有不同龄期美洲斑潜蝇幼虫的油豆苗叶剪下，用蘸蒸馏水的脱脂棉包住其叶柄，移入玻璃培养皿(直径 12 cm，高 1 cm)中，叶片下垫一张圆形滤纸以保湿。然后按上述处理方式分别移入已处理的潜蝇姬小蜂，用 100 目的纱网将培养皿覆盖，利用橡皮圈将其固定，放入已设置好的人工气候箱中；观察和记载寄生蜂对斑潜蝇的致死(取食、寄生)情况。实验时间为 8 h(10:00 – 18:00)，8 h 后移出潜蝇姬小蜂，叶片仍继续在人工气候箱培育，48 h 后观察记录结果。致死的斑潜蝇幼虫虫体附近有潜蝇姬小蜂卵或幼虫的记作被寄生；斑潜蝇虫体被致死，但附近无姬小蜂卵和幼虫，虫体不完整的，记作被取食；未被寄生或取食的记作发育正常。实验设置 3 个处理(见 1.2.1)，每个处理重复 30 次。

1.4 选择条件下寄生蜂对不同龄期寄主幼虫的致死作用

将上述处理中分别含有不同龄期(高、中、低)美洲斑潜蝇幼虫的油豆叶置于垫有圆形滤纸玻璃培养皿(直径：12 cm)中，不同龄期的寄主按高∶中∶低 = 8∶6∶6的比率设置，再移入处理好的潜蝇姬小蜂。实验时间也为 8 h。8 h 后，移出潜蝇姬小蜂。叶片仍继续在人工气候箱培育，48 h 后观察结果，记录寄生致死和取食致死情况。实验设置 3 个处理(见 1.2.1)，每个处理重复 30 次。

1.5 数据统计处理与分析

采用 SAS 9.2 软件进行数据分析，所有用于方差分析的百分率数据均进行了反正弦转换，方差分析采用 One-Way ANOVA + LSD 进行分析。

2 结果与分析

2.1 非选择条件下雌蜂对不同龄期斑潜蝇幼虫的致死(寄生/取食)作用

非选择条件下，不同营养状态的雌蜂对高龄寄主的致死能力有差异(表 1)。饥饿状态的寄生蜂寄生率(加蜂蜜水处理：$F = 139.71$，$P < 0.0001$；不加蜂蜜水处理：$F = 126.01$，$P < 0.0001$)、致死率(加蜂蜜水处理：$F = 26.62$，$P < 0.0001$；不加蜂蜜水处理：$F = 22.50$，$P < 0.0001$)及致死量(加蜂蜜水处理：$F = 31.30$，$P < 0.0001$；不加蜂蜜水处理：$F = 26.43$，$P < 0.0001$)均显著地低于其他两处理的寄生蜂，但 3 种处理的取食率之间却无差异；加蜂蜜水处理和不加蜂蜜水处理的寄生蜂之间致死能力均无显著差异($F = 1.67$，$P = 0.18$)。不同营养状态的雌蜂对中龄寄主的致死能力亦表现出一定的差异。饥饿状态寄生蜂的寄生率(加蜂蜜水处理：$F = 230.4$，$P < 0.0001$；不加蜂蜜水处理：$F = 218.33$，$P < 0.0001$)、致死率(加蜂蜜水处理：$F = 32.27$，$P < 0.0001$；不加蜂蜜水处理：$F = 36.56$，$P < 0.0001$)及致死量(加蜂蜜水处理：$F = 32.22$，$P < 0.0001$；不加蜂蜜水处理：$F = 32.20$，$P < 0.0001$)均显著低于加蜂蜜水和不加蜂蜜水处理的寄生蜂，而取食率却显著高于后两种处理(加蜂蜜水处理：$F = 5.85$，$P = 0.0203$；不加蜂蜜水处理：$F = 5.20$，$P = 0.0284$)；加蜂蜜水处理和不加蜂蜜水处理的寄生蜂之间的以上 4 个指标也均无显著差异。面对幼虫，3 种营养状态的寄生蜂对低龄寄主幼虫均没有表现出致死能力。

同种营养条件下，寄生蜂对不同龄期的寄主幼虫的致死作用也存在差异。饥饿状态的寄生蜂对高龄幼虫具有最高的寄生率，极显著地高于中龄幼虫($F = 75.39$，$P < 0.0001$)，达到中龄幼虫寄生率的 5 倍多；对中龄幼虫具有最高的取食率，分别显著高于对高龄($F = 5.55$，$P = 0.0212$)和低龄幼虫的取食率；而致死率和致死量之间并无显著性差异，但均显著地高于低龄幼虫。而加蜂蜜水和不加蜂蜜水的寄生蜂对高龄幼虫的寄生率(加蜂蜜水处理与中龄对比 $F = 15.95$，$P = 0.0003$；不加蜂蜜水处理与中龄对比 $F = 21.63$，$P < 0.0001$)、致死率(加蜂蜜水处理与中龄对比 $F = 8.02$，$P = 0.0071$；不加蜂蜜水处理与中龄对比 $F = 8.62$，$P = 0.0056$)及致死量(加蜂蜜水处理与中龄对比 $F = 8.71$，$P = 0.0052$；不加蜂蜜水处理与中龄对比 $F = 8.60$，$P = 0.0056$)均显著地高于中龄和低龄幼虫；但分别对高龄和中龄幼虫的取食率之间无显著性差异，但均显著分别高于低龄幼虫。

2.2 选择条件下寄生蜂对不同龄期寄主幼虫的致死(寄生/取食)作用

不同营养状态的潜蝇姬小蜂对混合寄主幼虫的致死能力选择结果(表 2)显示，3 种营养状态下，雌蜂对不同龄期的斑潜蝇幼虫的寄生率之间存在差

表 1 非选择条件下潜蝇姬小蜂对美洲斑潜蝇不同龄期幼虫的致死作用

Table 1 The lethal effects of parasitoid *Diglyphus isaea* on host *Liriomyza sativae* larvae at different instars on the condition of non choice

寄主龄期及寄生蜂营养状态 Host instars and parasitoid nutritional status	寄生率(%) Parasitism rate	取食率(%) Feeding rate	致死率(%) Mortality	致死量 Number of dead individuals
高龄幼虫 Late instar larva				
饥饿 Hungry	7.4 ±0.6 a (a)	23.2 ±0.7 a (a)	30.6 ±0.9 a (a)	6.1 ±0.2 a (a)
加蜂蜜水 Honey added	34.8 ±2.1 b (a)	21.7 ±3.2 a (a)	56.5 ±3.7 b (a)	11.3 ±0.7 b (a)
不加蜂蜜水 No honey added	32.5 ±1.7 b (a)	18.5 ±1.9 a (a)	51.0 ±2.0 b (a)	10.2 ±0.4 b (a)
中龄幼虫 Mid-instar larva				
饥饿 Hungry	1.4 ±0.4 a (b)	27.5 ±1.6 a (b)	28.9 ±1.6 a (a)	5.8 ±0.3 a (a)
加蜂蜜水 Honey Added	24.3 ±1.6 b (b)	18.5 ±1.7 b (a)	42.8 ±2.7 b (b)	8.6 ±0.5 b (b)
不加蜂蜜水 No honey added	22.4 ±1.3 b (b)	20.7 ±1.4 b (a)	43.1 ±1.8 b (b)	8.6 ±0.4 b (b)
低龄幼虫 Early instar larva				
饥饿 Hungry	0 ±0 a (c)	0.5 ±0.3 a (c)	0.5 ±0.3 a (c)	0.11 ±0.05 a (c)
加蜂蜜 Honey added	0 ±0 a (c)	0.6 ±0.4 a (c)	0.6 ±0.4 a (c)	0.12 ±0.07 a (c)
不加蜂蜜 No honey added	0 ±0 a (c)	0.6 ±0.3 a (c)	0.6 ±0.3 a (c)	0.12 ±0.06 a (c)

表中数据为平均值 ± 标准误(n = 30)，数据后有不同字母表示不同营养状态的寄生蜂对同一龄期寄主的致死能力差异显著(P < 0.05)(One-Way ANOVA + LSD)；数据后括号内有不同字母表示相同营养状态的寄生蜂对不同龄期寄主致死能力间差异显著。The data in the table are mean ± *SE* (n = 30), and those followed by different letters differ significantly at P < 0.05 by One-Way ANOVA and LSD test. The different letters indicate significant difference among different treatments of the same instar, while those in parenthesis indicate significant difference among different instars with the same treatment.

异。饥饿状态与加蜂蜜水和不加蜂蜜水两状态之间对高龄幼虫的寄生率(加蜂蜜水状态：F = 40.65，P < 0.0001；不加蜂蜜水状态：F = 52.32，P < 0.0001)和取食率(加蜂蜜水状态：F = 38.92，P < 0.0001；不加蜂蜜水状态：F = 32.44，P < 0.0001)有显著性差异；加蜂蜜水状态与另外两营养状态的寄生蜂对寄主食物的取食率(饥饿状态：F = 35.25，P < 0.0001；不加蜂蜜水状态：F = 32.92，P < 0.0001)和取食量(饥饿状态：F = 34.89，P < 0.0001；不加蜂蜜水状态：F = 34.12，P < 0.0001)有显著性差异；不加蜂蜜水状态与另外两种营养状态的寄生蜂对寄主的致死率(加蜂蜜水状态：F = 6.45，P = 0.0182；饥饿状态：F = 5.89，P = 0.0221)和致死量(加蜂蜜水状态：F = 28.77，P < 0.0001；饥饿状态：F = 24.12，P < 0.0001)存在显著性差异。饥饿状态下，潜蝇姬小蜂对寄主的寄生率最低，取食率最高，特别是对高龄幼虫的取食率占到了整个寄主食物取食率的 91.9%；加蜂蜜水状态下，潜蝇姬小蜂对寄主有最低的取食率和致死率，其中寄生蜂对高龄幼虫的取食率占到了整个寄主取食率的 89.2%；不加蜂蜜水状态下，潜蝇姬小蜂对寄主有最高的寄生率和致死率，其中寄生蜂对高龄寄主的取食率占到了整个寄主取食率的 55.6%。

3 讨论

潜蝇姬小蜂是典型的兼性寄生蜂，不但能够通过产卵寄生致死寄主，而且还需要通过寄主取食来获得维持生命和产卵所需的能量(Minkenberg，1989)，其寄主取食类型属于非同时产生型取食和致死型取食(史树森等，2009；张毅波等，2010)。因此，潜蝇姬小蜂遇到寄主时，是产卵寄生还是寄主取食的行为抉择及影响行为抉择的因子就倍受关注。Heimpel 和 Collier (1996)将影响寄生蜂寄主取食策略的因子分为两大类：与寄主相关的因子(寄主质量、寄主可用性和寄主分布等)和与寄生蜂相关的因子(抱卵量，营养储存及寄生蜂龄期等)，其中尤以寄生蜂体内抱卵量来确定寄生蜂行为研究最多。有人预测，当抱卵量为 0 时，寄生蜂才取食寄主(Chan and Godfray，1993；Collier *et al.*，1994)，但实际研究证明，寄生蜂取食时，其体内的抱卵量

表 2 选择条件下潜蝇姬小蜂对美洲斑潜蝇不同龄期幼虫的致死作用

Table 2 The lethal effects of parasitoid *Diglyphus isaea* on host *Liriomyza sativae* larvae at different instars under the condition of choice

生态指标 Ecological factor	雌蜂营养状态 Nutritional status of the female parasitoid		
	饥饿 Hungry	加蜂蜜水 Honey added	不加蜂蜜水 No honey added
寄生 Parasitism			
总寄生率(%)Total Parasitism rate	5.0 ± 1.6 a	9.4 ± 1.0 c	13.3 ± 1.1 b
高龄幼虫寄生率(%)Parasitism rate of late instar larvae	4.3 ± 1.5 a	8.5 ± 1.0 b	10.5 ± 0.9 b
总寄生量(头)Total parasitized number	1.5 ± 0.5 a	2.8 ± 0.3 a	4.0 ± 0.3 b
取食 Feeding			
总取食率(%)Total feeding rate	16.0 ± 2.9 a	8.3 ± 0.9 b	15.1 ± 1.2 a
高龄幼虫取食率(%)Feeding rate of late instar larvae	14.7 ± 2.1 a	7.4 ± 0.9 b	8.4 ± 1.2 b
总取食量(头)Total number of fed individuals	4.8 ± 0.9 a	2.5 ± 0.3 b	4.5 ± 0.4 a
致死能力 Lethal capability			
总致死率(%)Total mortality	21.0 ± 3.8 a	17.7 ± 1.1 a	28.4 ± 1.8 b
高龄幼虫致死率(%)Mortality of late instar larvae	19.0 ± 3.1 a	15.9 ± 1.1 a	18.9 ± 1.8 a
总致死量(头)Total of dead individuals	6.3 ± 1.1 a	5.3 ± 0.4 a	8.5 ± 0.5 b

同行数据(平均值 ± 标准误)具不同字母表示差异显著($P < 0.05$)(One-Way ANOVA + LSD)。The data (mean ± *SE*) in the same row followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$) (One-Way ANOVA + LSD).

不应是 0，而是低于某一临界值(Chan and Godfray, 1993; Heimpel *et al.*, 1994; Collier, 1995)，当寄生蜂的抱卵量趋于临界值以下时，寄生蜂将倾向于取食寄主；相反的，抱卵量趋于临界值以上时，寄生蜂倾向于寄生寄主。

本研究发现，改变寄生蜂的营养状态，寄生蜂的寄生率、取食率、致死率和致死量均显著改变，表明人为改变寄生蜂的营养状态，可以改变其行为抉择。在寄主非选择条件下，饥饿状态的雌蜂体内营养不足，抱卵量低，迫切需要取食寄主以补充体内营养，导致其对各龄寄主的取食能力均大于另外两种营养状态的雌蜂。由于饥饿状态的雌蜂寄主取食率高，所以在一定的时间里，当寄主取食行为发生的频次越高，相应地用于寄主取食的时间也越长，留给产卵寄生行为发生的时间就越少，频次越低。因此，饥饿状态的雌蜂取食寄主数量大，产卵寄生寄主量小，直接导致了其总体致死能力的降低。前人总结发现，卵育型寄生蜂倾向于产卵寄生较大个体的寄主，而取食较小个体的寄主(Heinz and Parrella, 1989; Rosenheim and Rosen, 1992; Heimpel and Rosenheim, 1995; Zang and Liu, 2008)。本研究也表明，在非选择条件下，饥饿状态的雌蜂对高龄幼虫的寄生率要 5 倍于中龄幼虫，取食率却显著地低于后者。这表明潜蝇姬小蜂作为典型的卵育型寄生蜂，也具有产卵寄生较大个体(高龄寄主)和取食较小个体(中低龄寄主)的特征。

在寄主有选择条件下，3 种营养状态的潜蝇姬小蜂对寄主具有不同的寄生率(饥饿最低，不加蜂蜜水最高)，但是对高龄幼虫的寄生率占到总寄生率的比率分别为 90.0%(饥饿)、90.4%(加蜂蜜水)和 80.0%(不加蜂蜜水)，这表明无论在何种状态下，潜蝇姬小蜂均倾向于产卵寄生高龄幼虫。与此同时，饥饿状态的寄生蜂具有最高的取食率，不加蜂蜜水次之。饥饿状态的寄生蜂因急需补充营养，取食欲望强，所以取食率最高；对于不加蜂蜜水的寄生蜂，寄主是它的唯一食物，取食率也较高。饥饿状态的寄生蜂对高龄幼虫的取食率要高于另外两状态寄生蜂。这可能与实验中饥饿处理的设置有关，处于过度饥饿状态的寄生蜂为了在最短时间里获得尽可能多的营养物质，尽快恢复自身活力，所以首选个体较大，营养丰富的高龄幼虫作为取食对象；但是另外两种处理的寄生蜂对总体寄主(3 个龄期的寄主)的取食率有差异，而对高龄幼虫取食率无差异则表明，蜂蜜水相比寄主食物对潜蝇姬小蜂寿命和生殖力的影响不存在优越性(另文发表)。事实上，关于兼性寄生蜂倾向于取食较大个体寄主的报道有很多(Videllet *et al.*, 1997; Zang and Liu, 2008)，所以我们认为卵育型寄生蜂对不

同个体的寄主的取食倾向会随着自身营养情况和寄主种群状态的改变而改变。从不加蜂蜜水的寄生蜂的总取食率和对高龄幼虫的取食率可以发现，寄生蜂对中龄幼虫(依据单一龄期实验的结果，我们可以知道寄生蜂几乎不取食寄主低龄幼虫)的取食率也占到了一定的比例。最终，不加蜂蜜水的寄生蜂的致死能力是最强的。因为寄生蜂不但寄生寄主，而且取食了部分中龄幼虫。对于加蜂蜜水寄生蜂，由于蜂蜜的存在，干扰了寄生蜂对寄主的取食能力，导致其对寄主致死能力的降低。

改变寄生蜂的营养状态可以改变寄生蜂的行为决策。饥饿状态的寄生蜂具有最强的取食倾向，而且寄生蜂并不是一味地取食低龄寄主，在特殊的情况下，寄生蜂也会选择高龄幼虫进行取食，以求在最快的时间里恢复活动能力。另外，本实验还发现取食寄主的寄生蜂相比取食蜂蜜水的寄生蜂具有更强的致死寄主的能力，这跟我们更早的实验结论相符，但是取食寄主食物和非寄主食物对潜蝇姬小蜂的寿命、产卵量和取食能力的影响需要在下一步的实验中量化。

参 考 文 献 (References)

Bene GD, 1990. Use of *Diglyphus isaea* (Walker) (Hym.: Eulophidae) for the control of *Liriomyza trifolii* (Burgess), *Chromatomyia horticola* (Goureau) and *Chromatomyia syngenesiae* Hardy (Dipt.: Agromyzidae) in greenhouses of chrysanthemum and gerbera. *Redia*, 73(1): 63 –78.

Burger JMS, 2002. How to Behavior Evolution of Host Handling Behavior in the Whitefly Parasitoid *Encarsia formosa*. PhD Dissertation, Wageningen University, Netherlands.

Cabitza F, Cubeddu M, Ballore S, 1993. Two years of observation on the application of biological control techniques against tomato pests on spring corps in greenhouse. *Informatore Agrario*, 49(18): 103 –106.

Chan MS, Godfray HCJ, 1993. Host-feeding strategies of parasitoid wasps. *Evolutionary Biology*, 7: 593 –604.

Chen AD, Chen ZL, Luo KJ, 2001. Research progress of leafminer parasitoid *Diglyphurs isaea*. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 16(4): 317 –319. [谌爱东，陈宗麒，罗开珺，2001. 潜蝇姬小蜂研究概况. 云南农业大学学报，16(4): 317 –319]

Chen HY, Chen CF, Wang SY, Chen SB, Lu QG, 2000. Behaviour observation and laboratory rearing of *Diglyphus isaea*. *Chinese Journal of Biological Control*, 16(1): 44 –46. [陈红印，陈长风，王树英，陈松笔，陆庆光，2000. 潜蝇姬小蜂的寄生行为观察、扩繁与限制释放. 中国生物防治，16(1): 44 –46]

Collier TR, 1995. Host feeding, egg maturation, resorption and longevity in the parasitoid *Aphytis melinus*. *Annals of the Entomological Society of America*, 88: 206 –214.

Collier TR, Murdoch WW, Nisbet RM, 1994. Egg load and the decision to host-feed in the parasitoid *Aphytis melinus*. *Journal of Animal Ecology*, 63: 299 –306.

Godfray HCJ, 1994. Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology. Princeton University Press, Princeton, NJ.

Heinz KM, Parrella MP, 1989. Attack behavior and host size selection by *Diglyphus begini* on *Liriomyza trifolii* in chrysanthemum. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 53: 305 –315.

Heimpel GE, Collier TR, 1996. The evolution of host-feeding behaviour in insect parasitoids. *Biological Reviews*, 71: 373 –400.

Heimpel GE, Rosenheim JA, 1995. Dynamic host feeding by the parasitoid *Aphytis melinus*: the balance between current and future reproduction. *Journal of Animal Ecology*, 64: 153 –167.

Heimpel GE, Rosenheim JA, Adams JM, 1994. Behavioral ecology of host feeding in *Aphytis* parasitoids. In: Proceedings of the 5th European Parasitoids Workshop. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* (*Suppl.*) 16: 101 –115.

Jervis MA, Kidd NAC, 1986. Host feeding strategies in hymenopteran parasitoids. *Biological Reviews*, 61: 395 –434.

Jervis MA, Kidd NAC, 1999. Parasitoid adult nutritional ecology: implications for biological control. In: Hawkins BA, Cornell HV eds. Theoretical Approaches to Biological Control. Cambridge University Press, Cambridge. 131 –151.

Luo KJ, Chen ZL, Chen AD, 2000. Activity of *Diglyphus isaea* (Hymenoptera: Eulophidae) in broad bean fields. *Natural Enemies of Insects*, 22(2): 68 –71. [罗开珺，陈宗麒，谌爱东，2000. 蚕豆田潜蝇姬小蜂白昼活动规律. 昆虫天敌，22(2): 68 –71]

Minkenberg OPJM, 1989. Temperature effects on the life history of the eulophid wasp *Diglyphus isaea*, an ectoparasitoid of leafminers (*Liriomyza* spp.) on tomatoes. *Annals of Applied Biology*, 115(3): 381 –397.

Minkenberg OPJM, van Lenteren JC, 1986. The leafminers *Liriomyza bryoniae* and *L. trifolii* (Diptera: Agromyzidae), their parasites and host plants: a review. *Agricultural University Wageningen Papers*, 86: 1 –50.

Ode PJ, Heinz KM, 2002. Host-size dependent sex ratio theory and improving mass-reared parasitoid sex ratios. *Biological Control*, 24 (1): 31 –41.

Ozawa A, Kobayasi H, Amamo T, 1993. Evaluation of imported parasitic wasps as biological control agents of the legume leaf miner, *Liriomyza trifolii* Burgess, in Japan. II. A field test on cherry tomatoes in a plastic greenhouse, in Shizuoka Prefecture. *Proceedings of the Kanto Tosan Plant Protection Society*, 40: 239 –241.

Sampson C, Walker P, 1998. Improved control of *Liriomyza bryoniae* using an action threshold for the release of *Diglyphus isaea* in protected tomato crops. *Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen*, 63(2b): 415 –422.

Shi SS, Zang LS, Liu TX, Ruan CC, Sun GZ, 2009. Host-feeding behaviors of parasitoids on hosts and implications for biological control. *Acta Entomologica Sinica*, 52(4): 424 –433. [史树森，

臧连生，刘同先，阮长春，孙光芝，2009. 寄生蜂寄主取食特性及其在害虫生物防治中的应用. 昆虫学报，52(4)：424－433]

Rosenheim JA, Heimpel GE, Mangel M, 2000. Egg maturation, egg resorption and the costliness of transient egg limitation in insects. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 267: 1565－1573.

Rosenheim JA, Rosen D, 1992. Influence of egg load and host size on host feeding behavior by the parasitoid *Aphytis lingnanensis*. *Ecological Entomology*, 17: 263－272.

Steinberg S, Gouldman D, Kaminski L, Bigler F, 1991. The effect of storage conditions on adult longevity, fertility and sex-ratio of the leafminer parasitoid *Diglyphus isaea* (Walker). In: Bigler F ed. Fifth Workshop of the IOBC Global Working Group on Quality Control of Mass Reared Arthropods. Wageningen UR Publication, Zürich, Wageningen. 95－101.

van Lenteren JC, Nell HW, Lelie LASV, 1980. The parasite host relationship between *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporarorum* (Homoptera: Aleyroidae). IV. Oviposition behavior of the parasite, with aspects of host selection, host discrimination and host feeding. *Journal of Applied Entomology*, 89: 442－454.

Videllet P, Albajes R, Gabarra R, 1997. Host-feeding activity of *Encarsia pergandiella* Howard on *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Bulletin OILB/SROP*, 20: 147－152.

Vinson SB, 1998. The general host selection behavior of parasitoid hymenoptera and a comparison of initial strategies utilized by larva phagous and oophagous species. *Biological Control*, 11: 79－96.

Zang LS, Liu TX, 2008. Host-feeding of three parasitoid species on *Bemisia tabaci* biotype B and implications for whitefly biological control. *Enotmologia Experimentalis et Applicata*, 127: 55－63.

Zhang YB, Liu WX, Wan FH, Li Q, 2010. Description of parasitized behaviors and host feeding behavior of *Diglyphus isaea* female wasp on the larval of *Liriomyza sativae*. *Chinese Journal of Biological Control*, 26(3): 248－253. [张毅波，刘万学，万方浩，李强，2010. 豌豆潜蝇姬小蜂雌蜂对美洲斑潜蝇幼虫的产卵寄生和寄主取食行为描述. 中国生物防治，26(3)：248－253]

（责任编辑：袁德成）